

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



РЕОЛОГІЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,
освітньою програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних
та будівельних матеріалів і виробів»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Реологія: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Івіцький, І. О. Мікульонок. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 23 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 01.04.2019 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 1 від 28.01.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

РЕОЛОГІЯ

Лабораторний практикум

Укладачі: *Івіцький Ігор Ігорович*, канд. техн. наук
Мікульонок Ігор Олегович, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний
редактор *Карвацький А. Я.*, д-р техн. наук, проф.

Рецензент: *Петухов А. Д.*, д-р техн. наук, проф.

Призначення лабораторного практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії реології шляхом самостійного експериментального дослідження реологічних властивостей матеріалів. Практикум містить описи п'ять лабораторних робіт. Кожній роботі передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта й методу дослідження. Для кожної роботи сформульовано мету, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань. У кінці кожної лабораторної роботи наведено список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми.

© І. І. Івіцький, І. О. Мікульонок, 2019
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ІХФ), 2019

ВСТУП

Лабораторний практикум призначений для підготовки та проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Реологія» (для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», освітньою програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» денної форми навчання. Призначення лабораторного практикуму – сприяти розвитку навичок самостійного експериментального дослідження реологічних властивостей матеріалів. Практикум містить описи п'яти лабораторних робіт. Кожній групі робіт передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта й методу дослідження. Для кожної роботи сформульовано мету, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наведено опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань. У кінці кожної лабораторної роботи наведено список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми. Залежно від програми курсу, оснащення лабораторії, наявності необхідних матеріалів викладач може вибирати (варіювати) відповідні теми, роботи й завдання. У кінці практикуму наведено перелік рекомендованої літератури до усіх тем.

МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета проведення лабораторних робіт – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії реології. Включення самостійної роботи студентів у навчальну програму як її основної складової частини потребує подальшого вдосконалення методики проведення лабораторних занять, підвищення їх ефективності. До кожного лабораторного заняття студент має виконати певний обсяг самостійної роботи, яка передбачена робочою навчальною програмою дисципліни «Реологія». Основні теоретичні та методологічні питання за темою заняття наводяться в преамбулі кожної лабораторної роботи. Для якісного засвоєння теоретичного матеріалу необхідно виконати рекомендоване домашнє завдання до кожного розділу курсу. Заключним компонентом підготовки до лабораторного заняття є складання протоколу запланованих дослідів у зошиті для лабораторних робіт. Безпосередньо перед виконанням дослідів у лабораторії викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні експериментальної частини лабораторної роботи. Оформлення звіту про виконання індивідуального лабораторного завдання сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

1. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які пред'явили протокол, складений самостійно, в окремому зошиті на 24–36 сторінок (Зошит для лабораторних робіт з дисципліни «Реологія», прізвище, ім'я та по батькові, факультет, група).

У зошиті зазначається:

- а) номер лабораторної роботи, її назва;
- б) мета роботи;
- в) порядок її виконання.

2. Одержані при виконанні роботи експериментальні дані необхідно пред'явити викладачу для перевірки.

3. Закінчивши роботу, необхідно вимити (почистити) використовувані елементи лабораторного обладнання, привести в порядок робоче місце й приступити до обробки результатів та оформлення звіту.

4. Звіт, крім протоколу, має містити:

- а) формули для розрахунків;
- б) розрахунки шуканих величин;
- в) таблиці експериментальних та розрахованих даних, графіки на координатному папері;
- г) висновки.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВИХ ТЕЧІЇ РІДКИХ ПРОДУКТІВ У КАПІЛЯРНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ

Мета роботи: Визначити закономірності процесу витоку рідких матеріалів з резервуару під дією сили тяжіння за різних значень тиску.

Основні теоретичні положення

Згідно закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю

$$\tau = \eta \left(\frac{dU}{dr} \right),$$

де τ – дотичне напруження в рідині, Па; $\frac{dU}{dr} = \dot{\gamma}$ – градієнт швидкості рідини в поперечному перерізі каналу, с^{-1} ; $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$ – в'язкість, Па·с.

Відповідно до закону Пуазейля, рух рідини в круглому каналі описується виразом

$$\Delta p = \frac{128\eta l Q_V}{\pi d^4},$$

де Δp – різниця тисків на довжині досліджуваної ділянки каналу, Па; Q_V – об'ємна витрата продукту, $\text{м}^3/\text{с}$; l та d – довжина та діаметр каналу, м, відповідно.

Якщо перепад тиску створений силою тяжіння стовпа рідини, то він визначається величиною

$$\Delta p = \rho g h,$$

де h – висота стовпа рідини, м.

Напруження зсуву визначають

$$\tau = \frac{\Delta p \cdot d}{4l}.$$

Швидкість зсуву визначають

$$\dot{\gamma} = \frac{32Q_V}{\pi d^3}.$$

Опис лабораторного устаткування

Для виконання лабораторної роботи необхідно таке устаткування:

- віскозиметр ВЗ 246 з набором капілярів;
- мірна ємність;
- секундомір;
- лабораторні ваги.

Віскозиметр ВЗ 246 призначений для визначення умовної в'язкості (часу витікання) лакофарбових матеріалів, зубних паст, клеїв і продуктів, що належать до них, згідно з ГОСТ 8920–74.

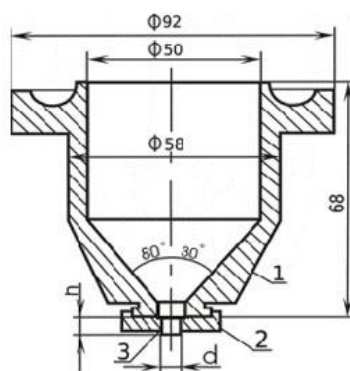


Рис. 1.1. Віскозиметр капілярний

Віскозиметр складається з резервуару 1, до якого за допомогою гайки 2 кріпиться капіляр 3. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметром каналу.

Порядок виконання роботи та оброблення результатів

1. Визначити густину досліджуваної рідини методом зважування наперед відомого об'єму.
2. Залити у віскозиметр досліджувану рідину. Відкрити випускний отвір і, підтримуючи постійну висоту стовпа рідини, злити рідину в мірну ємність, засікаючи час витоку рідини.
3. Виміряти об'єм зливої рідини.
4. Визначити об'ємну витрату для кожного дослідження та середню об'ємну витрату трьох дослідів.
5. Повторити пункти 1–4 для всіх досліджуваних рідин.
6. Визначити напруження зсуву, швидкість зсуву та в'язкість, використовуючи наведені вище закономірності.
7. Для кожної з досліджуваних рідин побудувати графік залежності в'язкості від швидкості зсуву $\eta = f(\dot{\gamma})$ та графік напруження зсуву від швидкості зсуву $\tau = f(\dot{\gamma})$.

Табл. 1.1. Параметри установки та досліджуваних рідин

l , мм	h , мм	Рідина	ρ , кг/м ³	Δp , Па

Табл. 1.2. Результати вимірювань

Рідина	d , мм	№ досліду	$V \cdot 10^6$, м ³	t , с	$Q_v \cdot 10^6$, м ³ /с	$\bar{Q}_v \cdot 10^6$, м ³ /с
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				

Література

1. Реологія: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Івіцький. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с. Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26729>
2. Малкин А. Я. Реология: концепции, методы, приложения / А. Я. Малкин, А. И. Исаев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2007. – 560 с.
3. Чанг Дей Хан. Реология в процессах переработки полимеров / Д. Х. Чанг. – Москва : Химия, 1979. – 368 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Проаналізуйте поняття ньютонівської та неньютонівської рідини.
2. Обґрунтуйте методику визначення швидкості зсуву.
3. Обґрунтуйте методику визначення напруження зсуву.
4. Проаналізуйте необхідність зміни діаметра капіляра у віскозиметрі.

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи: Опрацювати методику визначення густини розплаву під час течії полімерного матеріалу.

Основні теоретичні положення

Для визначення густини розплаву полімерного матеріалу застосовують капілярний віскозиметр ИИРТ з встановленим індикатором годинникового типу. Густина визначають за залежністю

$$\rho = \frac{m}{V},$$

де m – маса матеріалу, що витікла з сопла, кг; V – об'єм матеріалу, м³.

Для визначення об'єму матеріалу застосовують індикатор годинникового типу, що показує переміщення поршня капілярного віскозиметра

$$V = \pi R^2 h,$$

де R – радіус екструзійної камери, $4,74 \cdot 10^{-3}$ м, h – переміщення поршня віскозиметра, м.

Густина залежить від температури полімерного матеріалу та тиску.

Порядок виконання роботи та оброблення результатів

1. За допомогою терморегулятора задати температуру.
2. Встановити у прилад капіляр.
3. Засипати в канал полімерний матеріал, встановити упор та притиснути навантаженням.
4. Витримати матеріал у каналі за встановленої температури щонайменше 5 хв.
5. Обнулити покази індикатору годинникового типу, зрізати весь полімер, що витік до цього та прибрати упор.
6. Після проходження верхньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік та зняти покази індикатору годинникового типу.
7. Зважити отриманий зразок полімеру з точністю 0,01 г.
8. Повторити пп. 3–7, змінюючи навантаження.
9. Повторити пп. 1–8, змінюючи температуру.
10. Побудувати графіки залежності $\rho = f(T)$ за різних значень τ .

Табл. 2.1. Результати вимірювань

Температура, К	M , кг	$m \cdot 10^3$, кг	$h \cdot 10^3$, м

Література

1. Реологія: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Івіцький. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с. Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26729>
2. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхардт. – Москва : Химия, 1965. – 747 с.
3. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров / И. Уорд. – Москва : Химия, 1975. – 350 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Обґрунтуйте методику визначення густини розплаву полімерного матеріалу.
2. Проаналізуйте способи вимірювання переміщення поршня віскозиметра.
3. Проаналізуйте необхідність зміни температури під час дослідів.
4. Обґрунтуйте необхідність витримки полімерного матеріалу в каналі протягом 5 хв після зміни температури.

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВИХ ТЕЧІЇ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КАПІЛЯРНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ

Мета роботи: Дослідити залежності в'язкості полімеру за різної швидкості зсуву за допомогою віскозиметра ИИРТ.

Основні теоретичні положення

Відповідно до закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю

$$\tau = \eta \dot{\gamma},$$

де τ – дотичне напруження в рідині, Па; $\dot{\gamma}$ – градієнт швидкості, с^{-1} ; η – в'язкість, Па·с.

Згідно із законом Пуазейля рух рідини в круглому каналі описується виразом

$$\Delta p = \frac{128\eta l Q_v}{\pi d^4},$$

де Δp – різниця тисків на довжині досліджуваної ділянки каналу, Па; Q_v – витрата продукту, $\text{м}^3/\text{с}$; l та d – довжина та діаметр каналу, м, відповідно.

В'язкість полімеру визначається

$$\eta = \frac{\Delta p \pi d^4}{128 l Q_v},$$

Якщо перепад тиску створений навантаженням зразка полімеру, то

$$\Delta p = gM,$$

де M – вага навантаження, враховуючи, що вага штока – 1,2 кг.

Об'ємна витрата визначається

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho},$$

де Q_m – масова витрата, $\text{кг}/\text{с}$; ρ – густина полімеру, $\text{кг}/\text{м}^3$ (див. Додаток А).

Масова витрата

$$Q_m = \frac{m}{t},$$

де m – маса зразка, кг; t – час витікання зразка, с.

Напруження зсуву

$$\tau = \frac{\Delta p \cdot d}{4l}.$$

Швидкість зсуву

$$\dot{\gamma} = \frac{32Q_V}{\pi d^3}.$$

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 3.1) складається з опорної плити 1, на якій закріплений секундомір 2, тримача 3, в якому встановлена екструзійна камера з нагрівним елементом. У канал нагрівної камери вводиться поршень 5, навантажений гирями 6. Для випресовування полімеру призначений штурвал 7, який обертає гвинт 8, закріплений у колоні 9. Температура задається регулятором температури 10. Для спостереження за процесом витікання полімеру встановлені дзеркальний відбивач 12 і дзеркало 13.

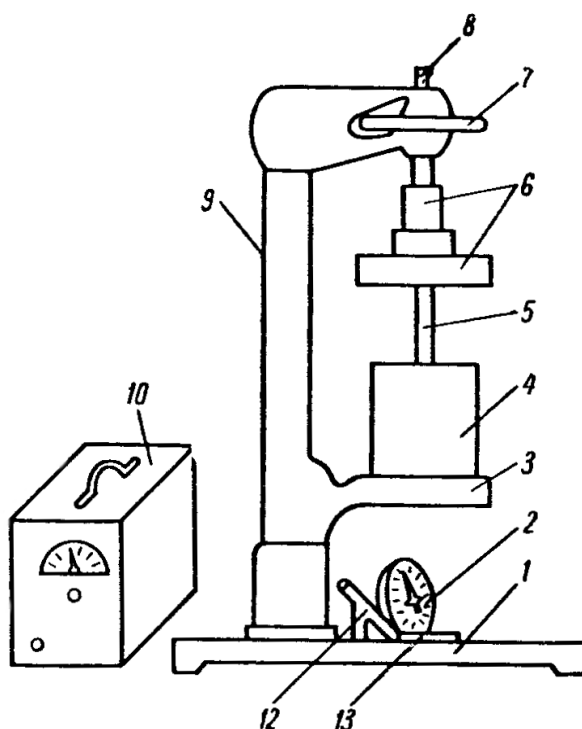


Рис. 3.1. Схема приладу ИИРТ

Порядок виконання роботи та оброблення результатів

1. За допомогою терморегулятора задати температуру.
2. Засипати в канал полімерний матеріал та притиснути навантаженням.
3. Витримати матеріал у каналі за встановленої температури щонайменше 5 хв.
4. Після проходження нижньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік до цього та почати замір часу.
5. Після проходження верхньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік та зупинити замір часу.
6. Зважити отриманий зразок полімеру з точністю 0,01 г.
7. Повторити дослід, змінюючи навантаження на зразок.
8. Після отримання даних, побудувати графік залежності в'язкості полімеру від швидкості зсуву $\eta = f(\dot{\gamma})$ та графік напруження зсуву від швидкості зсуву $\tau = f(\dot{\gamma})$.

Табл. 3.1. Параметри капіляру та досліджуваних полімерів

l , мм	d , мм	Полімер	T , °C	ρ , кг/м ³

Табл. 3.2. Результати вимірювань

Полімер	M , кг	№ досліду	$m \cdot 10^3$, кг	t , с	$Q_m \cdot 10^3$, кг/с	$\bar{Q}_m \cdot 10^3$, кг/с
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				

Література

1. Реологія: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Івіцький. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с. Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26729>
2. Виноградов Г. В. Реология полимеров / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – Москва : Химия, 1977. – 440 с.
3. Чанг Дей Хан. Реология в процессах переработки полимеров / Д. Х. Чанг. – Москва : Химия, 1979. – 368 с.
4. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхардт. – Москва : Химия, 1965. – 747 с.
5. Двойнос Я. Г. Уточнена методика оброблення експериментальних даних капілярної віскозиметрії / Я. Г. Двойнос, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2015. — №1(14). — С. 51—54.

Контрольні запитання та завдання

1. Обґрунтуйте методику визначення витрати полімерного матеріалу.
2. Проаналізуйте способи визначення масової та об'ємної витрати під час дослідів.
3. Обґрунтуйте методику визначення перепаду тиску в каналі капілярного віскозиметра.
4. Проаналізуйте способи підвищення точності вимірювань на капілярному віскозиметрі.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ В'ЯЗКОСТІ ПОЛІМЕРУ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: Дослідити залежності в'язкості полімеру за різної температури за допомогою віскозиметра ИИРТ.

Основні теоретичні положення

Для неньютонівської рідини при зміні швидкості зсуву змінюється в'язкість

$$\eta(\dot{\gamma}) = k\dot{\gamma}^{n-1},$$

де k – коефіцієнт консистенції; n – індекс течії.

Рівняння Ареніуса–Френкеля–Ейрінга (АФЕ), що описує зміну в'язкості від температури, дає змогу отримати розрахункове значення в'язкості за певної температури

$$\eta(T) = \eta_0 \exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right],$$

де η_0 – в'язкість за базової температури T_0 , Па·с; E – енергія активації в'язкої течії, Дж/моль; R – універсальна газова стала, $R = 8,4$ Дж/моль·град.

Таким чином залежність в'язкості від температури та швидкості зсуву описується виразом

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = k_0 \exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \dot{\gamma}^{n-1},$$

де k_0 – коефіцієнт консистенції за базової температури.

Енергія активації в'язкої течії може бути розрахована

$$E = R \frac{\ln k(T) - \ln k_0}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}}.$$

Коефіцієнт консистенції для певної температури визначають шляхом побудови графіка залежності напруження зсуву від швидкості зсуву $\tau = f(\dot{\gamma})$ у логарифмічних координатах за цієї температури та знаходження точки перетину отриманої залежності з віссю ординат.

Індекс течії визначають з графіка $\tau = f(\dot{\gamma})$ як кут нахилу отриманої залежності $n = \text{tg}(\alpha)$.

Порядок виконання роботи і обробки результатів

1. За допомогою терморегулятора задати початкову температуру.
2. Засипати в канал полімерний матеріал та притиснути навантаженням.
3. Витримати матеріал у каналі за встановленої температури щонайменше 5 хв.
4. Після проходження нижньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік до цього та почати замір часу.
5. Після проходження верхньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік та зупинити замір часу.
6. Зважити отриманий зразок полімеру з точністю 0,01 г.
7. Повторити пп. 2–6, змінюючи навантаження на зразок.
8. Повторити пп. 1–7 для наступного значення температури.
9. Після отримання даних для різних температур, побудувати графіки залежності в'язкості полімеру від температури $\eta = f(T)$ за різних значень напруження зсуву.
10. Побудувати графіки залежності $\tau = f(\dot{\gamma})$ за різних температур, знайти коефіцієнти консистенції k та індекс течії n .
11. Визначити енергію активації в'язкої течії для полімерного матеріалу.
12. Побудувати графік залежності в'язкості від температури за різних значень швидкості зсуву $\eta = f(\dot{\gamma}, T)$ за рівнянням АФЕ.

Табл. 4.1. Параметри капіляру та досліджуваного полімеру

l , мм	d , мм	Полімер	T , °C	ρ , кг/м ³

Табл. 4.2. Результати вимірювань

Температура	M , кг	№ досліду	$m \cdot 10^3$, кг	t , с	$Q_m \cdot 10^3$, кг/с	$\bar{Q}_m \cdot 10^3$, кг/с
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				

		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				
		1				
		2				
		3				

Література

1. Теплофизические и реологические свойства полимеров: справочник / ред. Липатов Ю. С. – Киев : Наукова думка, 1977. – 244 с.
2. Івіцький І. І. Експериментальні дослідження процесу плавлення полімеру / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. — 2018. — Том 29(68), №3. — С. 14—19.
3. Івіцький І. І. Моделювання процесу плавлення полімерного матеріалу в каналі екструдера 3D принтера / І. І. Івіцький, В. В. Соловей, О. Л. Сокольський // Modern Scientific Researches. — 2018. — Issue 4, Vol. 1. — С. 25—28.

Контрольні запитання та завдання

1. Проаналізуйте застосування рівняння Ареніуса–Френкеля–Ейрінга.
2. Обґрунтуйте методику визначення в'язкості за базової температури.
3. Обґрунтуйте методику визначення енергії активації в'язкої течії.
4. Обґрунтуйте методику визначення індексу течії.
5. Обґрунтуйте методику визначення коефіцієнта консистенції.

Лабораторна робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУЖЕННЯ ЗСУВУ ВІД ШВИДКОСТІ НА СТІНЦІ КАНАЛУ ПІД ЧАС ТЕЧІЇ ПОЛІМЕРУ

Мета роботи: Опрацювати методику визначення швидкостей на стінці каналу під час течії полімерного матеріалу. Дослідити залежності напруження зсуву від швидкості на стінці каналу.

Основні теоретичні положення

Для дослідження тертя рідини по твердій стінці в розплаві також застосовують метод Муні. В основу цього методу покладено припущення, що коли рідина не прилипає до стінок, швидкість рідини на стінці створює більш високу об'ємну витрату Q порівняно з повним прилипанням до стінок. Середня швидкість потоку, що безпосередньо може бути виміряна

$$v_{\text{сер}} = \frac{Q}{\pi R^2}.$$

Середня швидкість потоку $v_{\text{сер}}$ пов'язана з істинною середньою швидкістю $v_{\text{іст}}$ через швидкість ковзання $v_{\text{ковз}}$

$$v_{\text{іст}} = v_{\text{сер}} - v_{\text{ковз}}.$$

Помноживши на $4/R$, знаходиться зв'язок між істинною швидкістю зсуву і середньою швидкістю зсуву

$$\begin{aligned}\dot{\gamma}_{\text{сер}} &= \frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{4v_{\text{сер}}}{R}, \\ \dot{\gamma}_{\text{іст}} &= \dot{\gamma}_{\text{сер}} - \dot{\gamma}_{\text{ковз}}, \\ \frac{4v_{\text{іст}}}{R} &= \frac{4v_{\text{сер}}}{R} - \frac{4v_{\text{ковз}}}{R}.\end{aligned}$$

Таким чином:

$$\frac{4Q}{\pi R^3} = 4v_{\text{ковз}} \cdot \frac{1}{R} + \frac{4v_{\text{іст}}}{R}.$$

При побудові графіка $\frac{4Q}{\pi R^3}$ від $1/R$ отримується лінія з тангенсом кута нахилу, рівним чотирьом швидкостям ковзання.

Порядок виконання роботи та оброблення результатів

1. За допомогою терморегулятора задати температуру.
2. Встановити в прилад капіляр.
3. Засипати в канал полімерний матеріал та притиснути навантаженням.
4. Витримати матеріал у каналі за встановленої температури щонайменше 5 хвилин.
5. Після проходження нижньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік до цього та почати замір часу.
6. Після проходження верхньої мітки на штоці через границю камери обрізати весь полімер, що витік та зупинити замір часу.
7. Зважити отриманий зразок полімеру з точністю 0,01 г.
8. Повторити пп. 3–7, змінюючи навантаження.
9. Повторити пп. 2–8, змінюючи капіляри.
10. Після отримання даних, побудувати графіки залежності $\frac{4Q}{\pi R^3}$ від $1/R$ за різних значень напруження зсуву.
11. Визначити швидкості на стінці при кожному з напружень зсуву як:

$$v_{\text{ковз}} = \frac{tg\alpha}{4}.$$
12. Побудувати залежність напруження зсуву від швидкості на стінці $\tau = f(v_{\text{ковз}})$ та знайти апроксимуюче рівняння виду $\tau = kv_{\text{ковз}}^e$.

Табл. 5.1. Параметри досліджуваного полімеру

Полімер	$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$

Табл. 5.2. Результати вимірювань

R, мм	l, мм	M, кг	№ досліду	$m \cdot 10^3, \text{кг}$	$t, \text{с}$	$Q_m \cdot 10^3, \text{кг/с}$	$\bar{Q}_m \cdot 10^3, \text{кг/с}$
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				

			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				
			1				
			2				
			3				

Література

1. Сокольський О. Л. Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів / О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2014. — №2(94). — С. 66—69.
2. Sokolskyi A. L. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment / A. L. Sokolskyi, I. I. Ivitskyi // Modern Scientific Research and their Practical application. — 2014. — Vol. J21410. — P. 137—140.
3. Sivetskyi V. I. Methods for Determining the Presence, Character and Value of Wall Effects in Flow of Polymer Material / V. I. Sivetskyi, O. L. Sokolskyi, I. I. Ivitskyi // Technology Audit and Production Reserves. — 2015. — Vol 3, N 4(23). — P. 48—52.
4. Сівецький В. І. Визначення залежності швидкості полімерних матеріалів поблизу стінки круглого каналу від напруження зсуву / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький, В. М. Куриленко // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2015. — №1(14). — С. 44—47.
5. Івіцький І. І. Формування полімерних матеріалів. Дослідження впливу геометричних параметрів каналів обладнання на величину пристінних ефектів / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонюк, В. І. Сівецький // Хімічна промисловість України. — 2015. — №4(129). — С. 41—44.

Контрольні запитання та завдання

1. Проаналізуйте застосування методу Муні.
2. Обґрунтуйте методику побудови залежності $\frac{4Q}{\pi R^3}$ від $1/R$.
3. Обґрунтуйте методику визначення швидкості полімерного матеріалу на стінці каналу.
4. Обґрунтуйте методику визначення залежності $\tau = f(v_{\text{ковз}})$.

Додаток А Властивості полімерних матеріалів

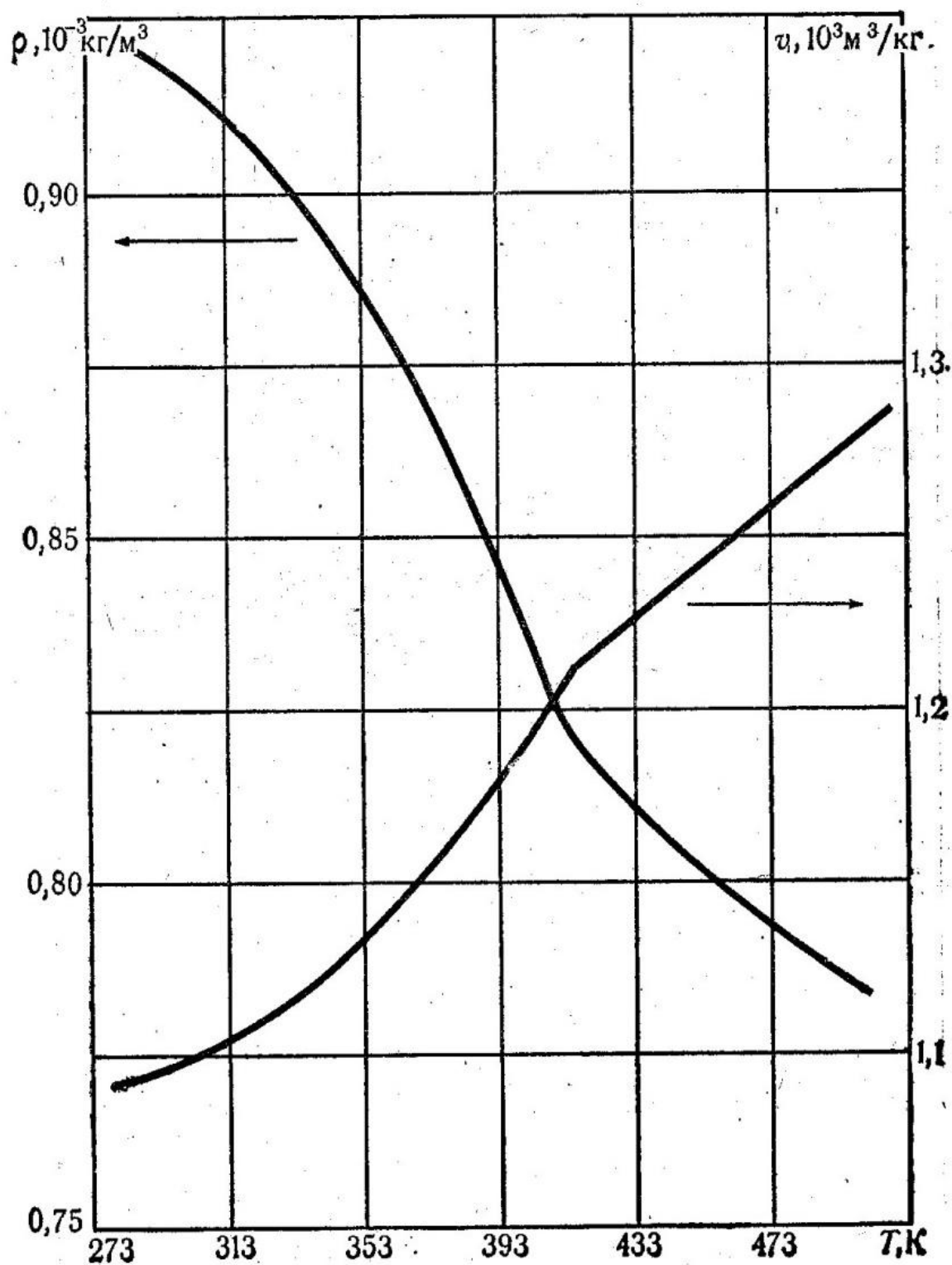


Рис. А.1. Залежність густини поліетилену низької густини від температури

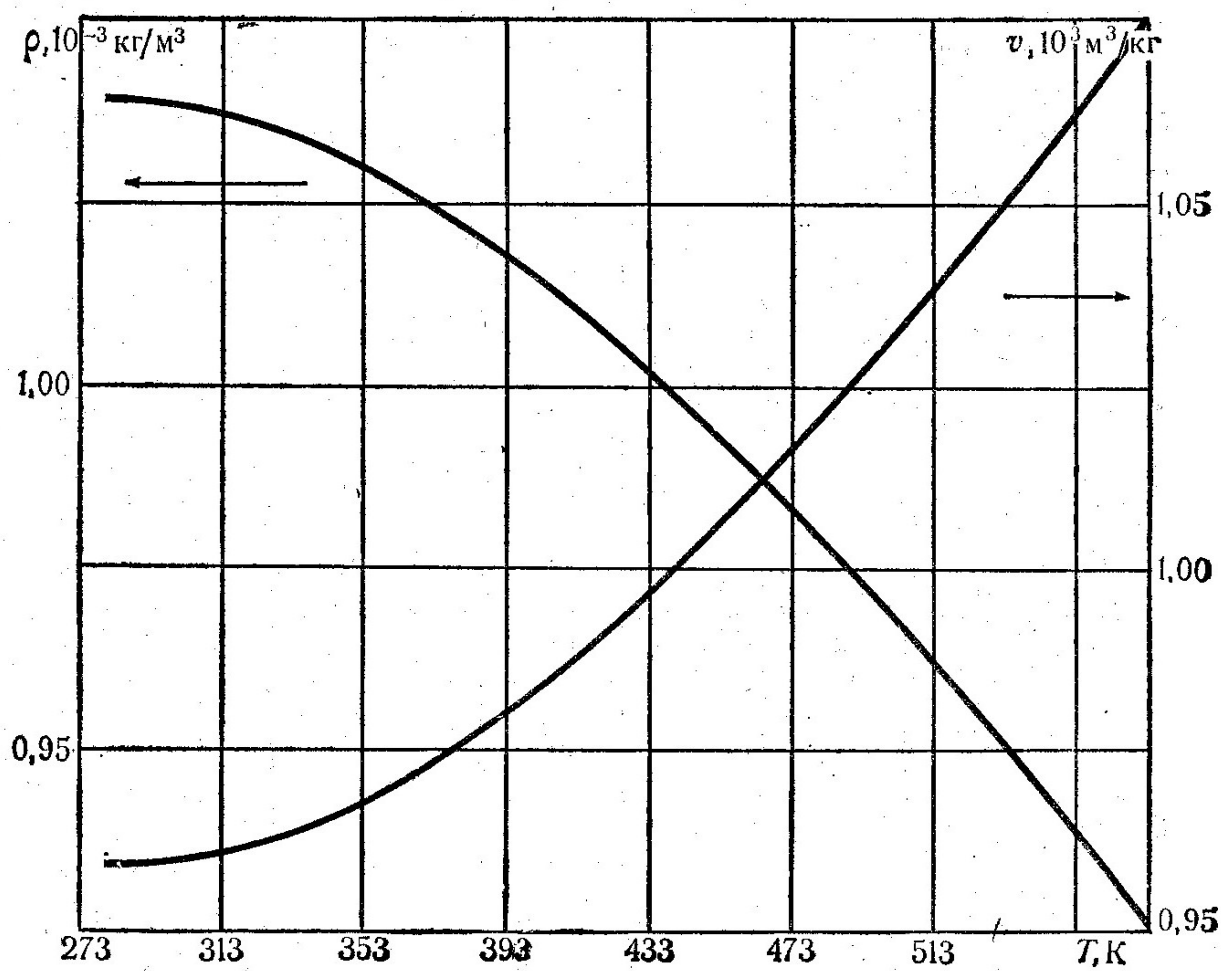


Рис. А.2. Залежність густини полістиролу від температури

ЗМІСТ

ВСТУП	2
Лабораторна робота №1	4
Лабораторна робота №2	8
Лабораторна робота №3	10
Лабораторна робота №4	14
Лабораторна робота №5	17
Додаток А Властивості полімерних матеріалів	21